

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-134763

(43)Date of publication of application : 18.05.2001

(51)Int.Cl.

G06T 7/00

G06F 15/18

(21)Application number : 11-318421

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 09.11.1999

(72)Inventor : TAKAGI YUJI
OBARA KENJI
NAKAGAKI AKIRA
OZAWA YASUHIKO
KUROSAKI TOSHISHIGE
ISOGAI SHIZUSHI

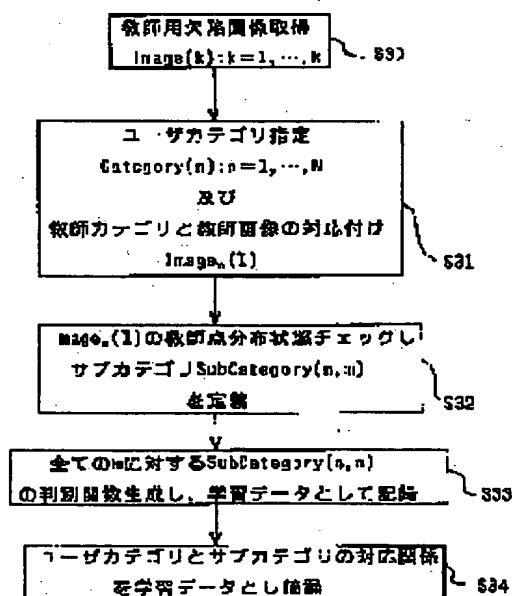
(54) METHOD FOR SORTING DEFECT ON BASIS OF PICKED-UP IMAGE AND METHOD FOR DISPLAYING THE RESULT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To smoothly perform learning by shortening teaching time of learning by making a sorting system automatically control consistency between the sorting reference of a defect defined by a user and an image feature concerning a method for automatically sorting the defect on the basis of a picked-up image.

SOLUTION: A user category designated by the user is temporarily sorted on the basis of the sub-category of low-order sorting with similarity in the features of images as a reference the images of respective defects. The similarity in the feature of this image is captured by a cluster for the distribution of feature amounts. As a result of sorting, the image of the defect is outputted with sorting based on the user category.

図 9



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-134763

(P2001-134763A)

(43)公開日 平成13年5月18日(2001.5.18)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 6 T 7/00		G 0 6 F 15/18	5 6 0 C 5 B 0 5 7
G 0 6 F 15/18	5 6 0	15/62	4 0 5 A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-318421

(22)出願日 平成11年11月9日(1999.11.9)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 高木 裕治

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 小原 健二

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外1名)

最終頁に続く

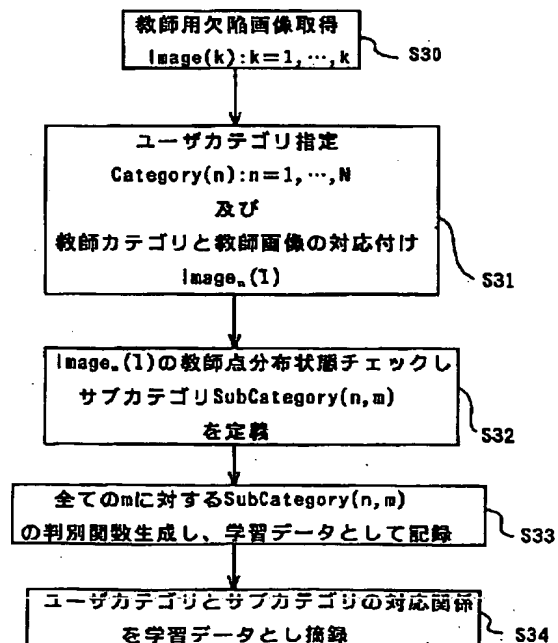
(54)【発明の名称】 撮像画像に基づく欠陥の分類方法、および、その結果の表示方法

(57)【要約】

【課題】撮像画像に基づいて欠陥を自動的に分類する方法において、ユーザが定義する欠陥の分類基準と画像的特徴との整合性を分類システムが自動的に調整し、学習の教示時間を短くし、スムーズに学習をおこなえるようにする。

【解決手段】ユーザが指定するユーザカテゴリを、各々の欠陥の画像を、画像の特徴の類似性を基準として、いったん、その下位分類たるサブカテゴリに基づいた分類をおこなう。この画像の特徴の類似性は、特徴量の分布のクラスタにより捉えられる。そして、分類の結果としては、欠陥の画像をユーザカテゴリに基づいた分類で出力する。

図 9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検査対象物を撮像して得られた画像に基づいて欠陥の種類を判別して、それを欠陥の種類に分類する撮像画像に基づく欠陥の分類方法において、ユーザが指定するユーザカテゴリを、さらに、複数のサブカテゴリに分類して、

各々の欠陥の画像を、いったん、サブカテゴリに基づいた分類をおこなって、

分類の結果としては、その欠陥の画像を前記ユーザカテゴリに基づいて分類をおこなった結果として出力されることを特徴とする撮像画像に基づく欠陥の分類方法。

【請求項 2】 前記複数のサブカテゴリは、前記ユーザカテゴリを、欠陥画像から得られる情報の類似性に基づいた情報処理によって、細分化したものであることを特徴とする請求項 1 記載の撮像画像に基づく欠陥の分類方法。

【請求項 3】 前記複数のサブカテゴリへの細分化は、その欠陥の画像を、その欠陥の画像の特徴の組からなる特徴量ベクトルと対応させ、

その特徴量ベクトルからなる特徴量空間上に分布するクラスタを基準として、

あるクラスタに属する特徴量ベクトルに対応する欠陥の画像を、そのクラスタに対応するサブカテゴリに属するものとして分類することを特徴とする請求項 2 記載の撮像画像に基づく欠陥の分類方法。

【請求項 4】 前記被検査対象物が、半導体ウェハであることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 記載のいずれかの撮像画像に基づく欠陥の分類方法。

【請求項 5】 請求項 1 ないし請求項 4 記載のいずれかの撮像画像に基づく欠陥の分類方法の結果の表示方法において、

前記ユーザカテゴリに分類される欠陥の画像を、そのユーザカテゴリに対応するユーザカテゴリウィンドウの中に表示し、

ユーザカテゴリウィンドウに属するサブウィンドウとして、サブカテゴリウィンドウを用意して、

前記ユーザカテゴリに含まれるサブカテゴリに分類される欠陥の画像を、前記サブカテゴリウィンドウの中に表示することを特徴とする撮像画像に基づく欠陥の分類方法の結果の表示方法。

【請求項 6】 同じユーザカテゴリに属するサブカテゴリウィンドウは、

常に同じウィンドウサイズに表示されるか、

あるいは、常に隣接して表示されるか、

あるいは、同一のウィンドウ背景色で表示されることを特徴とする請求項 5 記載の撮像画像に基づく欠陥の分類方法の結果の表示方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、撮像画像に基づく

欠陥の分類方法に係り、特に、半導体ウェーハのパターンの欠陥の分類を自動化する際に、ユーザの定義した欠陥のカテゴリを、その画像の特徴に基づき再分類して画像を分類するという観点から、画像の欠陥分類のための学習データを生成し、その学習データに基づいて欠陥の分類を自動的におこなう欠陥分類方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体ウェーハパターンの欠陥属性をその画像により分類する方法としては、特開平 8-21803 号公報に記載されているように、ニューラルネットワークを用いた手法が知られている。この方法では、まず欠陥属性ごとに規範となる教師画像データ（この明細書の中では、「欠陥のパターンの教師信号」と表現）を用意し、これを用いてニューラルネットワークの学習を実行する。この学習は、入力した教師画像データとニューラルネットワークの出力である分類結果の不一致状態を表す誤差値がある一定の値以下に収束するまで繰り返される。この誤差値は、ニューラルネットワークの重み係数にある手順に従って還元されて、最終的に学習データが得られる。

【0003】 このように学習の結果得られたニューラルネットワークの重み係数データは、学習データとして保存され、分類実行時には、この学習データを用いて、入力された欠陥画像の欠陥属性を分類する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術は、ニューラルネットワークと言う手法により、基になる学習データにより学習をおこなって欠陥の種別（カテゴリ）を自動的に判定しようとする技術である。しかしながら、この従来技術では、半導体ウェーハの製造過程における半導体ウェーハパターンの欠陥を分類する場合には、ユーザが定義した分類基準に従うよう自動分類の学習を実行するものである。すなわち、学習して得られるカテゴリはユーザが定義したカテゴリと一対一の関係になる。ところが、ユーザが定義する分類基準は、例えば、大きさは異なっても形状が同じであるとか、表面の模様も大きさも異なるが欠陥発生原因が同一であるとか、一意に画像的特徴の同一性だけでは定義できない場合も多い。

【0005】 このため、ユーザ定義のカテゴリをそのまま教示しても、画像的な特徴にまとまりが無いため学習をうまくおこなうことができず、ユーザの期待する通りに自動分類を実行させることができない。画像的な特徴とは明暗、輪郭、テクスチャなどの複数の像の特徴を定量化したものであり、欠陥の特徴は、實際上、これら複数の特徴の複合的な特徴として表されるので、システムの用いている画像の特徴をユーザが理解した上でカテゴリを決定して行くことは困難である。

【0006】 このように画像的な特徴とユーザが定義したカテゴリに乖離があるときには、学習はうまく行か

ず、ユーザが指示したカテゴリ通りには完全に再分類されない。そのため、このように学習がうまく行っていないと判断される場合には、教師画像の追加、あるいは例外的な教師画像の削除など、使用する教師画像の入れ替えをおこなうなど画像を仕分けては学習し直し、評価結果を見るという試行錯誤的な操作を繰り返さなければならない。そのため、最終的に妥当な学習データを得ることができたとしても学習のための操作時間、すなわち、教示時間が長くなるという問題点があった。

【0007】本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、その目的は、半導体ウェハのパターンなどを対象として、撮像画像に基づいて欠陥を自動的に分類する方法において、ユーザが定義する欠陥の分類基準と画像的特徴との整合性を分類システムが自動的に調整し、ユーザ定義の欠陥分類基準をシステムに入力するだけで、画像的特徴を生かして欠陥の分類をおこない、その結果をユーザ定義の欠陥分類基準に還元して、スムーズな学習をおこなうことのできる撮像画像に基づく欠陥の分類方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の撮像画像に基づく欠陥の分類方法に係る発明の構成は、被検査対象物を撮像して得られた画像に基づいて欠陥の種類を判別して、それを欠陥の種類に分類する撮像画像に基づく欠陥の分類方法において、ユーザが指定するユーザカテゴリを、さらに、複数のサブカテゴリに分類して、各々の欠陥の画像を、いったん、サブカテゴリに基づいた分類をおこなって、分類の結果としては、その欠陥の画像を前記ユーザカテゴリに基づいて分類をおこなった結果として出力されるようにしたものである。

【0009】より詳しくは、上記撮像画像に基づく欠陥の分類方法において、前記複数のサブカテゴリは、前記ユーザカテゴリを、欠陥画像から得られる情報の類似性に基づいた情報処理によって、細分化したものであるようにしたものである。

【0010】また詳しくは、上記撮像画像に基づく欠陥の分類方法において、前記複数のサブカテゴリへの細分化は、その欠陥の画像を、その欠陥の画像の特徴の組からなる特徴量ベクトルと対応させ、その特徴量ベクトルからなる特徴量空間上に分布するクラスタを基準として、あるクラスタに属する特徴量ベクトルに対応する欠陥の画像を、そのクラスタに対応するサブカテゴリに属するものとして分類するようにしたものである。

【0011】さらに詳しくは、上記撮像画像に基づく欠陥の分類方法において、前記被検査対象物が、半導体ウェハであるようにしたものである。

【0012】上記目的を達成するために、本発明の撮像画像に基づく欠陥の分類方法の表示方法に係る発明の構成は、上記いずれかの撮像画像に基づく欠陥の分類方法

の結果の表示方法において、前記ユーザカテゴリに分類される欠陥の画像を、そのユーザカテゴリに対応するユーザカテゴリウィンドウの中に表示し、ユーザカテゴリウィンドウに属するサブウィンドウとして、サブカテゴリウィンドウを用意して、前記ユーザカテゴリに含まれるサブカテゴリに分類される欠陥の画像を、前記サブカテゴリウィンドウの中に表示するようにしたものである。

【0013】より詳しくは、上記撮像画像に基づく欠陥の分類方法の結果の表示方法において、同じユーザカテゴリに属するサブカテゴリウィンドウは、常に同じウィンドウサイズに表示されるか、あるいは、常に隣接して表示されるか、あるいは、同一のウィンドウ背景色で表示されるようにしたものである。

【0014】上記のように本発明では、同一の欠陥カテゴリを持つ欠陥画像をユーザが定義する一つのユーザカテゴリに属するものとして、その対象となる教師画像の画像特徴量の分布状態を調べ、特徴量空間の中での稠密な領域とその数を調べる。稠密な領域は、それ自体が一つのまとまり（クラスタ）と考えることができるので、そのクラスタに対応した欠陥画像をそのユーザカテゴリのサブカテゴリに含まれるものとする。

【0015】稠密な領域が複数ある場合は、一つのユーザカテゴリに対して、複数のサブカテゴリが含まれることになる。これにより、ユーザカテゴリの特徴量が特徴量空間内で散在した場合でも、システムは、それに対応する欠陥画像をサブカテゴリに分解して、サブカテゴリ単位で画像特徴的なまとまりを把握し認識することができる。このようにして、ユーザが定義したユーザカテゴリに属する画像の欠陥の特徴を、システムが、自動的に画像特徴のまとまりごとにサブカテゴリ化して学習し、サブカテゴリとユーザカテゴリとの対応関係を記憶しておくことで、ユーザ定義のカテゴリに従った学習と分類が可能となる。

【0016】これにより、ユーザはユーザカテゴリに従って教師画像を仕分けてシステムに入力するだけで、画像特徴などを意識することなく教師画像の学習をおこなうことができるので、従来のような試行錯誤的な学習操作をすることなく、短時間に教師画像の学習をおこなうことが可能となる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る一実施形態を図1ないし図13を用いて説明する。

【半導体製造プロセスと欠陥分類方法】先ず、図1を用いて本発明に係る欠陥分類方法が半導体製造プロセスにおいて果たす役割について説明する。図1は、半導体製造プロセスと本発明に係る欠陥分類方法の関係の概略の模式図である。

【0018】現在の半導体の製造工程は、日を追って複雑化しており、ときには数百ものプロセス1(b)を経

て製造され完成までに約100日もの期間を要する場合がある。このような複雑な製造工程を経て、初めて製品として出荷されるわけであるが、製品の良否が判明するのは全てのプロセスが完了したブローブ検査1(a)である。このため、歩留まりを向上するためには途中のプロセスに欠陥があるか否か推定する手段が必須である。

【0019】このような観点から、プロセスの合間に外観検査装置2による外観検査がおこなわれ、配線パターンの外観異常から、そのプロセスで欠陥を生み出す原因が生じていないかを判定することがおこなわれている。

【0020】そのプロセスに何らかの異常が確認された場合には、それに対する対策を実施する必要があるが、このための情報収集手段として欠陥分類装置3は重要な役割を果たしている。すなわち、外観検査の結果4からは欠陥の場所と数は把握できるが、その欠陥の性質などの情報は得られない。このため、欠陥分類装置3により欠陥部位での画像5を取り込み、これを基に欠陥の種類を分類して、不良モード別の発生頻度6を品質管理システム7で表示させることにより、対策候補を絞り込むことができる。

【0021】例えば、図1に示されている不良モード表示画面の例では、パターン欠陥に比べ異物の発生頻度が大きいと、異物発生防止対策をおこなえば良いことが判る。すなわち、発生頻度が高い欠陥の原因推定をして、それを優先的に対策することで、歩留まりを迅速に向上させることを期待できる。

【0022】このような欠陥分類装置3は、従来目視でおこなわれていた欠陥分類作業を自動化する装置であり、高い分類性能が要求される。

【0023】〔本発明に係る欠陥分類のための学習過程概要〕次に、図2ないし図4を用いて本発明に係る半導体プロセスにおける欠陥分類装置と欠陥分類のための学習過程の概要について説明する。図2は、半導体プロセスに用いられている欠陥分類装置の構成図である。図3は、本発明に係る欠陥分類のための学習過程の処理手順を示すフローチャートである。図4は、教師データ作成画面および教師データの例を示す図である。

【0024】以下では、図3のフローチャートを追いながら、適宜、図2と図4を参照して説明する。

【0025】分類学習では、まず始めに教師データ用の欠陥画像の収集をおこなう(S23)。このため、まず図2に示される基板搬送装置8により、基板10をステージ11に搭載する。一方、ホストコンピュータ20は、ネットワーク22を経由して基板10に対応する欠陥座標情報を上位システムから受け取る。ここで言う上位システムとは、歩留り管理システム、製造ライン監視システム、プロセス管理システムなどの品質管理システム、あるいは欠陥を検査する検査装置などを指している。

【0026】ホストコンピュータ20は、受け取った欠

陥座標情報を参照してステージ制御部16に指示を送り、ステージ11を移動して欠陥を観察位置に移動する。欠陥は、光学系9を介してTVカメラ12で撮像され、画像入力装置13を介して画像記録装置14に欠陥画像が記録される。

【0027】以上の処理を指定された欠陥について繰り返し、欠陥画像が蓄積される。

【0028】次に、教師データの作成をおこなう(S24)。

【0029】図4(a)は、教師データ作成におけるモニタ表示例であり、(b)は、教師データとして記録された欠陥データのデータ構造を示している。

【0030】ユーザは、モニタ18にされた欠陥画像を観察してカテゴリに分類する。このユーザが欠陥画像を分類するのに用いるカテゴリを「ユーザカテゴリ」と言うことにする。この欠陥画像のカテゴリ分けは、収集された欠陥画像について教示に必要な画像全てに対しておこなう。

【0031】具体的に説明すると、モニタには、蓄積された欠陥画像が未分類ウィンドウ28の中に表示されている。これに対して、ユーザはユーザ定義のユーザカテゴリウィンドウ29を作成し、未分類ウィンドウ内にある欠陥画像を対応するユーザカテゴリウィンドウに移動することで、欠陥画像に対して教師データとしてのカテゴリ分けをおこなう。欠陥画像を移動させるのは、マウスなどのポインティングデバイスを持ちいて、ドラッグさせることなどによりおこなうことができる。

【0032】ユーザが欠陥画像に対してカテゴリ分けをした情報は、ホストコンピュータ20内に教師データに関する情報として記録される。

【0033】次に、欠陥画像の画像の特徴抽出をおこなう(S25)。

【0034】この処理では、図2に示される画像記録装置14から画像処理装置15にデータを転送して、画像処理を実施して画像の特徴量を抽出する。ここで、画像特徴量とは、欠陥の色情報、形状、サイズ等である。例えば、異物は暗く、円形に近いが、パターン欠陥は、周辺パターンと同一色で形状は複雑である等の特徴がある。このような特徴を特徴量として捉え、それを予め決められた種類の特徴量として計算し、ホストコンピュータ20により、それを教師データとして欠陥番号に対応して記録する。なお、図4(b)の例で表現されている特徴量は5通りである。

【0035】次に、この教師データを基にホストコンピュータ20で学習作業、すなわち、学習データの生成がおこなわれ(S26)、学習データがホストコンピュータ20に記録される(S27)。

【0036】〔本発明に係る欠陥分類方法の学習ステップの詳細〕次に、図5ないし図9を用いて本発明に係る欠陥分類方法の学習ステップ、すなわち、学習データを

生成する処理について詳細に説明する。図5は、二次元の特徴量空間における特徴量ベクトルの分布の一例を示した図である。図6は、ユーザカテゴリ「部品飛び欠陥」に分類される欠陥の半導体パターン上の表れ方を示した模式図である。図7は、二次元の特徴量空間における特徴量ベクトルの分布の他の一例を示した図である。図8は、図7に示される特徴量ベクトルの分布をクラスタとして捉えたときの図である。図9は、本発明のサブカテゴリを用いた欠陥の分類学習手順を示すフローチャートである。図10は、本発明のサブカテゴリを用いた欠陥の分類学習データにより欠陥の分類をおこなうときのフローチャートである。

【0037】(I) 特徴量空間上での特徴量ベクトルの分布と欠陥のカテゴリとの関係

まず、学習対象とする教師画像により、各画像における欠陥やその背景の画像特徴量を抽出する。特徴量とは、既に述べたが、例えば、欠陥部の円形度、面積などの幾何学的定量的数値、画像平均輝度値、分散値、色に関する値(RGBの割り合い、色相、色彩値の分布など)などの画像情報に関する定量的数値、あるいは欠陥の背景画像も含めた画像情報に関する定量的数値などである。

【0038】今、予め設定された特徴量の個数が n 個あり、その各々の特徴量を c_i とする。とする。そして、一つの画像から抽出される n 個の特徴量の組み(c_0, c_1, \dots, c_n)を特徴量ベクトルとして定義する。また、特徴量ベクトルの全体が生成する空間を、特徴量空間と定義する。すなわち、特徴量ベクトルは、特徴量空間の一点として捉えられる。

【0039】各教師画像に対して抽出された特徴量ベクトルは、図4(b)に記載したように、各教師画像のインデックスである欠陥番号に対応して、欠陥カテゴリとともに記録される。以下では、特徴量空間内の各教師画像より抽出された特徴量ベクトルで表される点を教師点と呼ぶことにする。

【0040】図5では、2つのカテゴリAおよびBに対応する教師点の分布を、特徴量の数が2であるときとしたときの例が模式的に示されている。

【0041】これらの教師点に対応する欠陥を、カテゴリAあるいはBに分類するために、一般的には、図5に示す直線L、あるいは、楕円EA、EBなどの図形的特徴を計算して判別している。

【0042】図5に示される2つの特徴量を f_1, f_2 としたとき、例えば直線Lを用いて、

【0043】

【数1】 $L(f_1, f_2) > 0 \rightarrow$ 対応する欠陥はカテゴリAに属する

$L(f_1, f_2) < 0 \rightarrow$ 対応する欠陥はカテゴリBに属する

ただしここで、

【0044】

【数2】 $L(X, Y) = a \times X + b \times Y + c$

は、図5に示す直線を表すものとする。

【0045】また、楕円を用いた場合には、

【0046】

【数3】 $EA(f_1, f_2) < 0 \rightarrow$ 対応する欠陥はカテゴリAに属する

$EB(f_1, f_2) < 0 \rightarrow$ 対応する欠陥はカテゴリBに属する

ただし、EA、EBは、

【0047】

【数4】 $EA(X, Y) = d \times X^2 + e \times Y^2 + f \times X \times Y + g \times X + h \times Y + i$

$EB(X, Y) = j \times X^2 + k \times Y^2 + l \times X \times Y + m \times X + n \times Y + o$

であり、各々図5に示す楕円EA、EBを表すものとする。

【0048】この図5に示されるような教師点の分布を有する場合には、欠陥の分類としては、L、および、EA、EBを判別関数として用いることができる。

【0049】ニューラルネットワークなどで決定される判別関数は、これよりも複雑な形をとるものの、上記と同様に考えることができる。

【0050】与えられた教師画像の特徴量ベクトルとその分布特性から、以上のような判別関数を決定し、これを学習データとして記憶する(図3のS27)。

【0051】以上が、特徴量空間を導入した欠陥分類のための学習過程である。

【0052】ところで、ユーザが決めたカテゴリに対応する特徴量ベクトルの分布が、必ずしも特徴量空間上で分離性が良いものとは限らない。この実例を採り挙げて、ユーザの定めるユーザカテゴリをサブカテゴリに分割するという本発明のアイデアを説明する。

【0053】半導体の製造プロセスにおいて、ユーザが「部品飛び欠陥」として分類するユーザカテゴリがある。これは、半導体のパターンの回路上に形成されたコンデンサなどの回路部品が剥離、脱落し、他の場所に飛んで落下したものである。

【0054】例えば、部品の形が斜視図で図6(a)に示すような円柱状の形をしたものとする。そのときに、この部品が落ちたときには、その外観はその姿勢により図6(b)(c)のように異なって見える。また、剥離、脱落した本の部分では図6(d)のように見え、画像的な特徴は図6(b)(c)(d)の間では全く異なる。

【0055】しかしながら、これらの欠陥が発生した原因は「部品飛び」であって、欠陥属性としては同一のものであり、従ってユーザ定義のカテゴリはユニークなものとして捉えられるべきものである。

【0056】このような状況のときに、2種類のカテゴリA、Bに属する欠陥に対応する特徴量ベクトルの分布

状況を極端かつ模式的に示すと、例えば、図7に示したようになることが想定される。この場合には、数1や数3で示したような判別関数で、カテゴリの分類をおこなうことは不可能である。

【0057】これを解決するために、本発明では、以下のようにして欠陥のカテゴリの分類をおこなうことにする。まず、特徴量空間内の教師点の個々のクラスタ（密集部分）に着目する。すなわち、特徴量空間で近い距離にある特徴量ベクトルは同じクラスタに属するものとする。例えば、図7に示した教師点の分布において、図8に示されているように各クラスタをA1、A2、B1、B2、B3とする。

【0058】そして、ユーザが定義する欠陥のカテゴリを、その特徴量ベクトルがどこのクラスタに属するかで判断する。この例では、A1とA2、B1、B2とB3が同一の原因により発生した欠陥の特徴量ベクトルであり、その欠陥が同一のカテゴリに属するべきであると考えられるときには、その欠陥の特徴量ベクトルは、以下のように欠陥クラスタの和集合に属することになる。

【0059】

【数5】カテゴリAに属すべき欠陥の特徴量ベクトル \in クラスタA1 \cup クラスタA2
 カテゴリBに属すべき欠陥の特徴量ベクトル \in クラスタB1 \cup クラスタB2 \cup クラスタB3
 また、同じことであるが、

【0060】

【数6】カテゴリAに属すべき欠陥 \in クラスタA1に対応する欠陥 \cup クラスタA2に対応する欠陥
 カテゴリBに属すべき欠陥 \in クラスタB1に対応する欠陥 \cup クラスタB2に対応する欠陥 \cup クラスタB3に対応する欠陥
 となる。

【0061】このように考えれば、その欠陥の特徴量ベクトルが、クラスタA1またはクラスタA2に属するときには、その欠陥は、カテゴリAに属すると判定され、クラスタB1、クラスタB2またはクラスタB3に属するときには、その欠陥は、カテゴリBに属すると判定される。

【0062】このように各々のクラスタに対しては、既に例を挙げたような判別関数などで、教師点が属するか否かを容易に識別することができるので、これにより、その欠陥がどのカテゴリに属するかを識別することが可能となる。このような既存の技術として、与えられた点群である教師点の集まりから、その密集部分と密集部分の数を識別する方法は、例えば、H.Frigui, R.Krishna puram, "A robust algorithm for automatic extraction of an unknown number of clusters from noisy data", Pattern Recognition Letters 17, pp1223-1232, 1996に開示されている。

【0063】(II) サブカテゴリの導入

これまで述べてきた例でも分るように、ユーザが定義するユーザカテゴリの欠陥を、そのまま特徴量空間にマッピングしても、その特徴量ベクトルの分布は、判別関数などでは捉えにくいものになりがちである。そこで、本発明では、ユーザカテゴリベクトルをさらに分割したサブカテゴリという概念を導入する。このサブカテゴリによる分類は、欠陥分類の自動化をおこなうために、その特徴量ベクトルのなす分布が一つのクラスタを構成するようにおこなうべきである。図8の例では、クラスタA1、A2に対応している欠陥が一つのサブカテゴリ、クラスタB1、B2、B3に対応している欠陥が一つのサブカテゴリを構成することになる。このサブカテゴリを導入することにより、ユーザカテゴリと、そのカテゴリに属する欠陥の特徴量の特性との乖離を吸収して、より欠陥の画像特徴に基づいた自動化がおこなえるようになる。図6に示した例では、「部品飛び欠陥」というユーザカテゴリは、それぞれ、図6(b)(c)(d)に示される様子を表す欠陥が、それぞれのサブカテゴリに属することになる。

【0064】(III) サブカテゴリの導入したときの欠陥分類の学習手順

次に、図9のフローチャートを追いながらこのサブカテゴリを導入した場合の欠陥分類の学習手順を説明しよう。

【0065】まず、ユーザは、欠陥画像Image(k):k=1, ..., K(ただし、Kは教師用に取得した欠陥画像数)を取得し(S30)、ユーザが定義した欠陥カテゴリCategory(n):n=1, ..., N(ただし、Nはユーザが定義したカテゴリ数)に従って欠陥画像Image(k):k=1, ..., Kを分類し、Category(n)に属する欠陥画像をImage_n(l)(ただし、lはユーザカテゴリnに属する画像に新たに付した番号)とする(S31)。

【0066】そして、このユーザによる分類が終了した後、ユーザカテゴリ毎に、欠陥画像Image_n(l)の教師点の分布状態が複数のクラスタに分れた状態になっているか、すなわち、サブカテゴリに欠陥を分類すべきか否かを調べる。調べた結果、M個のクラスタが存在し、カテゴリnの欠陥をM個のサブカテゴリに分類すべきだとされたときには、カテゴリnに含まれるサブカテゴリを定義し、それをSubCategory(n, m):m=1, ..., Mとする(S32)。

【0067】最後に、このサブカテゴリに対応しているクラスタの判別関数を(例えば、数1あるいは数3などで表される関数)を求め学習データとして記憶する(S33)。また、ユーザカテゴリとサブカテゴリとの対応関係も学習データとして同時に記憶する(S34)。

【0068】(IV) サブカテゴリの導入したときの欠陥分類の処理手順概略

次に、図10の順を追いながら、本発明に係るサブカテゴリを用いた学習データより、実際に欠陥の分類をする

ときの処理手順を簡単に説明する。

【0069】 先ず、分類対象となる欠陥画像のデータを取得し（S40）、その分類対象となる画像より画像特徴量を計算し抽出する（S41）。

【0070】 そして、学習過程で記憶された学習データ中の判別関数により、その欠陥の特徴量ベクトルが属しているクラスを判定し、それにより、その欠陥が属すべきサブカテゴリを決定する（S42）。

【0071】 次に、サブカテゴリとユーザカテゴリとの対応関係は、S34のステップの処理で学習データとして記憶されているので、そのサブカテゴリを含むユーザカテゴリを求めて、これを結果として出力する（S43）。

【0072】 ここで注意したいのは、欠陥の分類の最終的な出力は、サブカテゴリではなく、ユーザカテゴリであることである。すなわち、ユーザカテゴリは、問題中心でユーザが欠陥を捉えたカテゴリであり、サブカテゴリは、その欠陥の画像的特徴に基づいてユーザカテゴリを分類したときのカテゴリである。すなわち、ユーザカテゴリを、一度、計算機などで捉えやすいサブカテゴリにブレークダウンして、最終的には、その欠陥の分類はユーザカテゴリによる分類でおこなわれるというのが本発明の趣旨である。

【0073】 [本発明に係る欠陥分類方法のユーザインターフェイス] 次に、図11ないし図13を用いて本発明に係る欠陥分類方法のユーザインターフェイスを、欠陥分類の結果の表示の仕方という観点から説明する。図11は、欠陥の自動分類装置の表示画面で、未分類ウィンドウを示す模式図である。図12は、ユーザカテゴリウィンドウを示す模式図である。図13は、サブカテゴリウィンドウを示す模式図である。

【0074】 欠陥の画像は、欠陥の自動分類装置の表示画面に表示される。本発明の欠陥の自動分類装置の表示画面では、欠陥の状態によってそれぞれ異なっているウィンドウを用いる。

【0075】 先ず、最初に欠陥が分類されていない状態のときには、未分類ウィンドウ30に欠陥の画像が表示される。図11では、この未分類ウィンドウ30に、ブリッジ、パターン欠陥、異物、部品飛びなど、さまざまな欠陥が同じ画面に表示されている。

【0076】 ユーザが教師用データのユーザカテゴリを作成するときには、ユーザは、図12に示されるようにユーザ定義のカテゴリ名を入力して対応するユーザカテゴリウィンドウ31を作成する。

【0077】 そして、ユーザは、そのユーザカテゴリに属し教示に必要と判断した画像を、マウスなどを使って全て対応するユーザカテゴリウィンドウ31に移動させる。

【0078】 そして、上で述べてきた学習手順にしたがって、欠陥画像に対する特徴量抽出をおこない、そのユ

ーザカテゴリに含まれるサブカテゴリを生成する。

【0079】 サブカテゴリが生成されて、ユーザカテゴリウィンドウ31に含まれていた欠陥の画像がサブカテゴリに分類されると、それらの欠陥の画像は、図13に示されるようにサブカテゴリウィンドウ32に表示される。このサブカテゴリウィンドウ32は、ユーザカテゴリウィンドウ31のサブウィンドウであると言える。

【0080】 ここでサブカテゴリの属するユーザカテゴリが同一であることを示すために、同一のユーザカテゴリに属するサブカテゴリウィンドウ32は同色の背景で示される。

【0081】 また、サブカテゴリの属するユーザカテゴリが同一であることを示す他の手段としては、ユーザの指定により、一つのサブカテゴリウィンドウを画面上で移動させても、同一のユーザカテゴリに属するサブカテゴリウィンドウが、常に隣接するように自動的に移動するようにして、隣接するサブカテゴリウィンドウが同一のユーザカテゴリに属することを明示的に示すようにしても良い。

【0082】 さらに、ユーザの指定により、一つのサブカテゴリウィンドウに対する拡大、縮小、最小化などのオペレーションに関しても、同様の作用が同一のユーザカテゴリに属するサブカテゴリウィンドウに作用するようにして、同一のユーザカテゴリに属することを明示的に示すことも可能である。

【0083】 [欠陥の撮像手段について] 以上、欠陥画像は光学的手段により撮像するものとして説明したが、欠陥の撮像手段は、このほかに走査型電子顕微鏡、あるいは光学式の共焦点型顕微鏡であっても構わない。走査型電子顕微鏡より得られる画像においては色彩情報が得られないため、欠陥画像特徴量として色に関する値（RGBの割合、色相、色彩値の分布など）が得られないが、その他の例えば、濃淡画像平均輝度値、分散値、欠陥輪郭形状、テクスチャ情報などを得ることが可能であり、色に関して特徴量の情報を持たないことは、この発明の本質を何ら変えるものではない。

【0084】

【発明の効果】 本発明によれば、半導体ウェハのパターンなどを対象として、撮像画像に基づいて欠陥を自動的に分類する方法において、ユーザが定義する欠陥の分類基準と画像的特徴との整合性を分類システムが自動的に調整し、ユーザ定義の欠陥分類基準をシステムに入力するだけで、画像的特徴を生かして欠陥の分類をおこない、その結果をユーザ定義の欠陥分類基準に還元して、スムーズな学習をおこなうことのできる撮像画像に基づく欠陥の分類方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 半導体製造プロセスと本発明に係る欠陥分類方法の関係の概略の模式図である。

【図2】 半導体プロセスに用いられている欠陥分類装置

の構成図である。

【図3】本発明に係る欠陥分類のための学習過程の処理手順を示すフローチャートである。

【図4】教師データ作成画面および教師データの例を示す図である。

【図5】二次元の特徴量空間における特徴量ベクトルの分布の一例を示した図である。

【図6】ユーザカテゴリ「部品飛び欠陥」に分類される欠陥の半導体パターン上の表れ方を示した模式図である。

【図7】二次元の特徴量空間における特徴量ベクトルの分布の他の一例を示した図である。

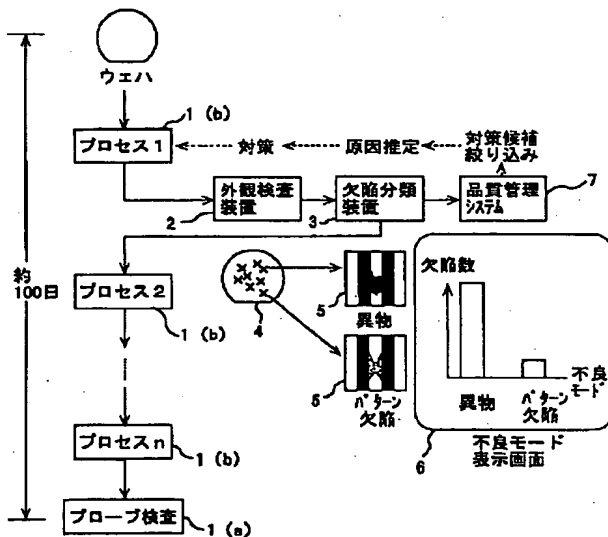
【図8】図7に示される特徴量ベクトルの分布をクラスタとして捉えたときの図である。

【図9】本発明のサブカテゴリを用いた欠陥の分類学習手順を示すフローチャートである。

【図10】本発明のサブカテゴリを用いた欠陥の分類学習データにより欠陥の分類をおこなうときのフローチャートである。

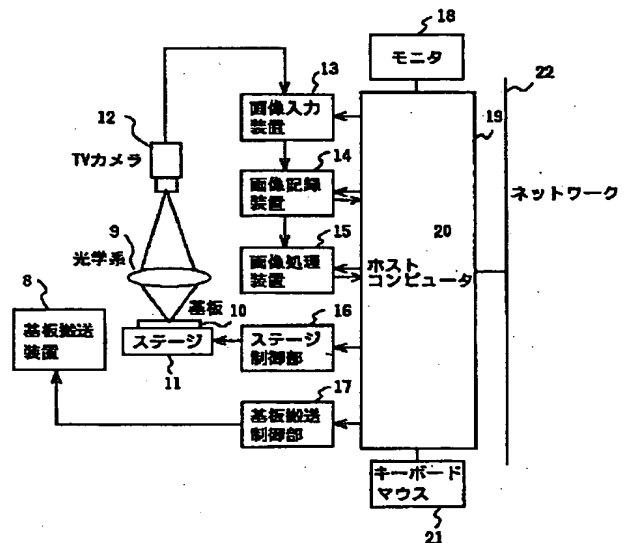
【図1】

図 1

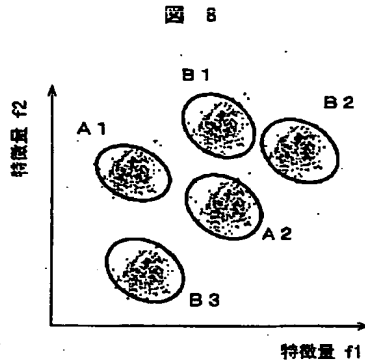


【図2】

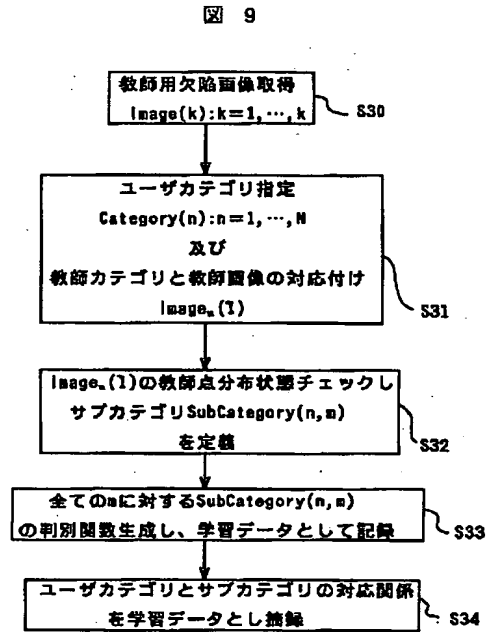
図 2



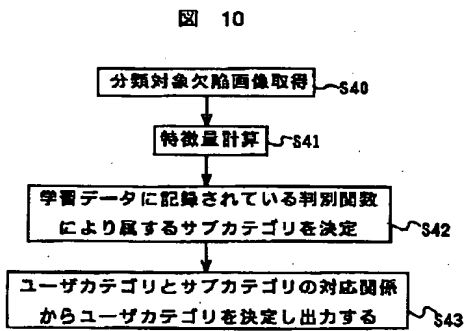
【図8】



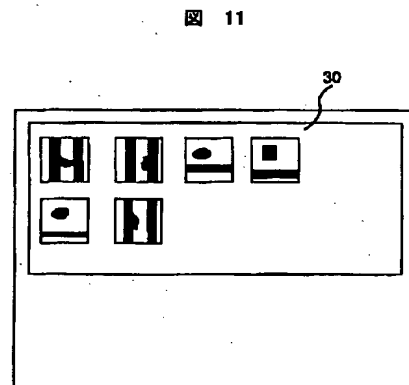
【図9】



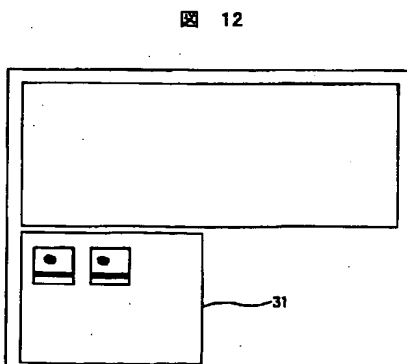
【図10】



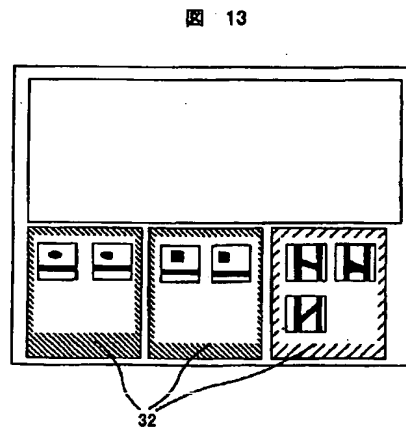
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 中垣 亮

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 小沢 康彦

茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会社日立製作所計測器グループ内

(72)発明者 黒崎 利栄

茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会社日立製作所計測器グループ内

(72)発明者 磯貝 静志

茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会社日立製作所計測器グループ内

Fターム(参考) 5B057 AA03 DA03 DC01 DC40